

Grüne BioRaffinerie Brandenburg

Beiträge zur Produkt- und Technologieentwicklung sowie Bewertung

B. Kamm*, M. Kamm, K. Richter, B. Linke, I. Starke, M. Narodoslowsky, K.-D. Schwenke, S. Kromus, G. Filler, M. Kuhnt, B. Lange, U. Lubahn, A. Segert, S. Zierke

Summary:

The AG Grüne Bioraffinerie presents the concept 'Green BioRefinery Brandenburg' (GBR-B) and first data of primary and secondary GBR-technologies as well as technologically and economically meaningful intermediate and final products. The main focus is directed to GBR-products, such as lactic acid, amino acids, chlorophyll, carbohydrates, proteins and fibers. Green Biomass for example grass or green crops, such as lucerne, clover, immature cereals from extensive (or less intensive) land cultivation are an excellent raw material of Green Biorefinery. By the help of the biotechnology, the processing technologies, the 'soft' and 'green' chemistry, these valuable materials can be isolated in their natural form, or via mild conversion carefully be devoted to an economical utilization. First results of strategies of implementation of technologies and products combined with a green crop drying industry were described.

Zusammenfassung:

Die AG Grüne Bioraffinerie präsentiert das Konzept Grüne BioRaffinerie Brandenburg (GBR-B) und erste Daten von primären und sekundären GBR-Technologien, die zu technisch und wirtschaftlich sinnvollen Zwischenprodukten und Endprodukten führen. Hauptaugenmerk liegt auf den GBR Produkten Milchsäure, Aminosäuren, Chlorophyll, Kohlenhydrate, Proteine und Fasern. Grüne Biomassen, wie Gras oder grüne Wirtschaftspflanzen, wie Luzerne, Klee, unreifes Getreide aus einer extensiven (oder wenig intensiven) Landbewirtschaftung sind ein exzellenter BioRaffinerie-Rohstoff. Mit Hilfe von Methoden der Biotechnologie, der Prozesstechnologie, der ‚Sanften‘ und der ‚Grünen‘ Chemie, der Nicht-klassischen Chemie wird versucht, diese Wertstoffe naturbelassen zu isolieren und durch sanfte, schonende Konversionen einer wirtschaftlichen Nutzung zuzuführen. Erste Resultate von Implementierungsstrategien der Technologien in Kombination mit einem Grüngut-Trockenwerk werden beschrieben.

Einleitung

Die Erhaltung und Bewirtschaftung der Ressourcen ist ein wesentlicher Politikbereich einer umweltverträglichen, nachhaltigen Entwicklung, der mit der Agenda 21 als Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert von mehr als 170 Staaten im Juni 1992 in Rio de Janeiro verabschiedet wurde. Dies beinhaltet neue Lösungen zu suchen, um den derzeitigen Prozess des rasanten Verbrauchs an fossilen,

nicht erneuerbaren Ressourcen (Erdöl, Erdgas, Kohle, Mineralien) zu entschleunigen. Wesentlich wird dabei sein, inwieweit es gelingt, die derzeitige auf fossilen Rohstoffen basierende Produktion von Waren und Dienstleistungen schrittweise auf eine auf biologischen Rohstoffen basierende industrielle Produktion von Waren und Dienstleistungen umzustellen. International einig ist man sich darin, dass von dieser Umstellung die Weiterentwicklung der menschlichen Zivilisation und die Weltökonomie abhängig sein werden. Ein nachhaltiges ökonomisches Wachstum erfordert sichere, nachhaltige Rohstoffressourcen für die industrielle Produktion. Der heutige vorherrschende industrielle Rohstoff Erdöl ist weder nachhaltig, da endlich, noch umweltfreundlich. Die Umstellung ganzer Volkswirtschaften auf biologische Rohstoffe als Wertschöpfungsquelle erfordert jedoch ganz neue Ansätze in Forschung und Entwicklung. Zum einen kommen den Biologischen Wissenschaften eine führende Rolle bei der Formierung der Zukunftsindustrien des 21. Jh. zu. Zum anderen müssen neue Wege des Zusammenwirkens der biologischen, physikalischen, chemischen und technischen Wissenschaften erarbeitet und gefunden werden. Und dies muss im Verbund mit neuen Verkehrstechnologien, Medien- & Informationstechnologien, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften umgesetzt werden. Die Entwicklung von Bioraffinerien wird dabei „der Schlüssel für den Zugang zu einer integrierten Produktion von Nahrungsmitteln, Futtermitteln, Chemikalien, Werkstoffen, Gebrauchsgütern und Brennstoffen auf Basis biologischer Rohstoffe der Zukunft sein“ (*National Research Council, USA, 2000 [19]*).

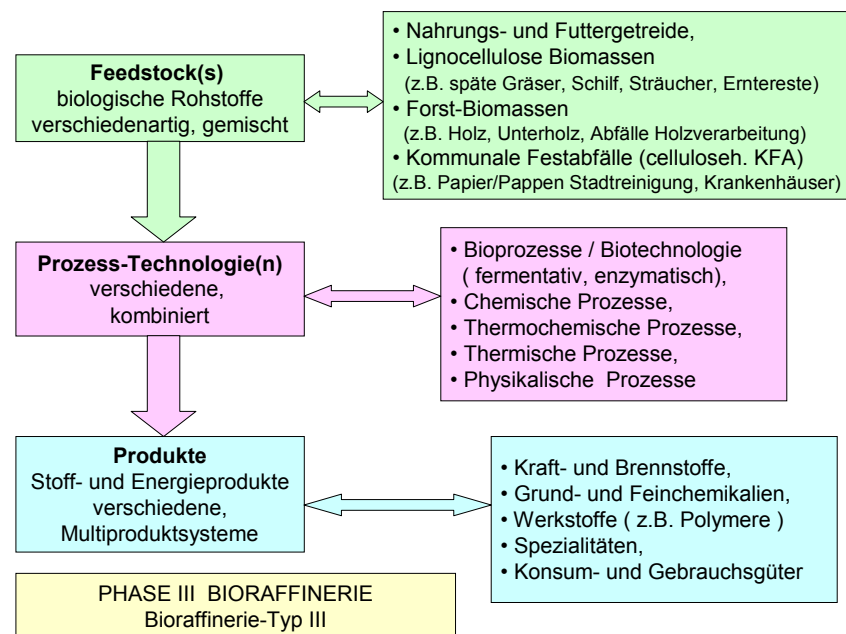


Abb. 1: Grundprinzipien einer Bioraffinerie (Phase III /Typ III-Bioraffinerie)

Bioraffinerie, Bioraffinerieprozesse und Bioraffinerieprodukte

Arbeiten an Bioraffinerie-Konzepten, d.h. zunächst die Fraktionierung von Biomasse in Anlehnung an die Physiologie und biologisch-chemische Vielfalt der Inhaltsstoffe und entsprechende Nutzung und Verarbeitung der so erhaltenen Fraktionen, gab es schon lange, bevor der Name Bioraffinerie/ biorefinery etwa ab der Mitte der 80ziger Jahre des 20. Jahrhunderts in der Fachwelt auftauchte. Wissenschaftlich lassen sich solche Arbeiten bis zu den französischen Chemikern *G.F. & H.M. Roulle* 1773 (Herstellung von Proteinextrakten aus Luzerneblättern) zurückverfolgen (vgl. *Kamm*, 1999 [1]).

Zu erwähnen seien an dieser Stelle — aus Platzgründen stellvertretend — die Arbeiten von *Osborn* 1920; *Slade & Birkinshaw*, 1939 [2]; *Pirie*, 1937, 1942 [3] (vgl. *Pirie*, 1975 [4] und *Schwenke*, 1985 [5]) zur Gewinnung von Proteinfractionen (ursprünglich zum Zweck der Gewinnung von Nahrungsmitteln) aus grünen Pflanzen, wie Luzerne; die Entwicklung der Gewinnung von Protein-Xanthophyll-Konzentraten zur Großtechnologie (Proxan®- und Alfaprox®-Verfahren, 1972-73 [6]); die amerikanischen und chinesischen Verwertungskonzepte für schnellwachsende Holzgräser (*Shen*, 1982, 1984

[7]), die Agro-Konzepte zur gekoppelten Grünfütter- und Reststoffverwertung (Silage-, Rohprotein- und Biogas-Erzeugung, Heier, 1983 [8]). Wesentlich zur Entwicklung von Bioraffineriesystemen, insbesondere von Grünen Bioraffinerien trugen die Arbeiten von Carlsson bei, welcher die Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit solcher Systeme, insbesondere aus pflanzenphysiologischer und ökologischer Sicht begründete (Carlsson, 1982 [9], 1989 [11]). Nicht zuletzt trugen zur Etablierung heutiger Bioraffinerie-Konzepte — auch hier stellvertretend — die biotechnologisch-chemischen Verwertungskonzepte von Melasse — einem Bulk-Nebenprodukt der Zuckerraffination (vgl. Amino-GmbH Frellstedt, in Kamm, 1997 [12]) — und die Getreide-Nassmahlverfahren mit angeschlossenen biotechnologischen und chemischen Produktlinien (Hacking, 1986 [13], vgl. **Abb. 3**) bei.

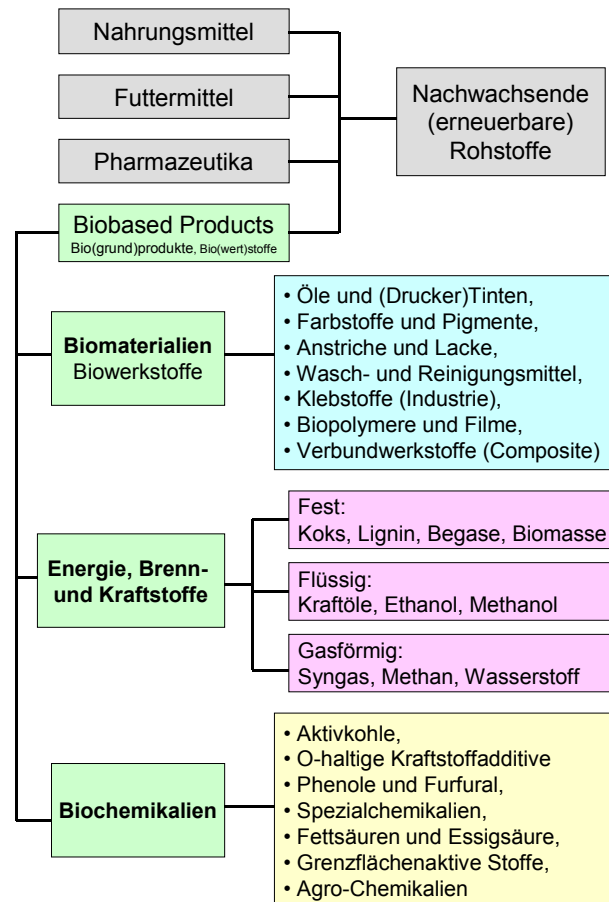


Abb. 2: Gegenwärtig hergestellte Produkte bzw. Produktklassen auf Basis biologischer Rohstoffe

Biologische Rohstoffe und Biologische Grundprodukte (biobased products)

Die Mehrzahl der biologischen Rohstoffe werden in der Landwirtschaft, der Waldwirtschaft und durch mikrobielle Systeme produziert. Waldbaupflanzen sind ein hervorragender Rohstoff für die Papier- und Pappenindustrie, die Bauwirtschaft und die chemische Industrie. Ackerfrüchte bilden einen organisch-chemischen Pool, aus welchem Kraft- und Brennstoffe, Chemikalien und Chemieprodukte sowie Biomaterialien (vgl. **Abb. 2** & [14]) produziert werden können. Abfallbiomassen sowie Biomassen der Natur- und Landschaftspflege sind wertvolle organische Rohstoffreservoirs und entsprechend ihrer Zusammensetzung zu nutzen. Im Zuge der Entwicklung von Bioraffineriesystemen wird der Begriff Abfallbiomasse mittelfristig veralten. Viele biobasierende Industrieprodukte sind Ergebnisse einer direkten physikalischen oder chemischen Be- oder Verarbeitung von Biomasse: z.B. Cellulose, Stärke, Öle, Proteine, Lignin und Terpene. Andere werden indirekt aus Kohlenhydraten unter Nutzung von biotechnologischen Verfahren, wie mikrobiellen und enzymatischen Prozessen produ-

ziert (Szamant, 1987 [15], Richter & Kamm, 1997 [16], Danner & Brown, 1999 [17]). Heute werden bereits eine Vielzahl an Produkten und Produktklassen auf Basis biologischer Rohstoffe produziert (Abb. 2). Andererseits werden gegenwärtig lediglich 7% der auf Pflanzen basierenden Weltbiomasseproduktion von $6,9 \times 10^{17}$ kcal/Jahr (1997) verwertet bzw. genutzt. 93% des erneuerbaren Rohstoffreservoirs bleiben ungenutzt. Für die USA heißt dies beispielsweise: 1996 wurden weniger als 1% an produzierter Biomasse energetisch und weniger als 5% stofflich genutzt (NCGA-USA, 1998 [18]). Warum ist dies so? Der Marktpreis von biologisch basierenden Industrieprodukten, Konsumgütern und Dienstleistungen hängt im wesentlichen von zwei Faktoren ab: (1) von den Kosten der biologischen Rohstoffe, aus denen ein Produkt hergestellt wird und (2) von den Kosten der Prozesstechnologie die benötigt wird, um den Rohstoff in das gewünschte Produkt zu konvertieren. Auch sind der gegenwärtigen fossil based Weltökonomie Entwicklungshemmnisse anzulasten.

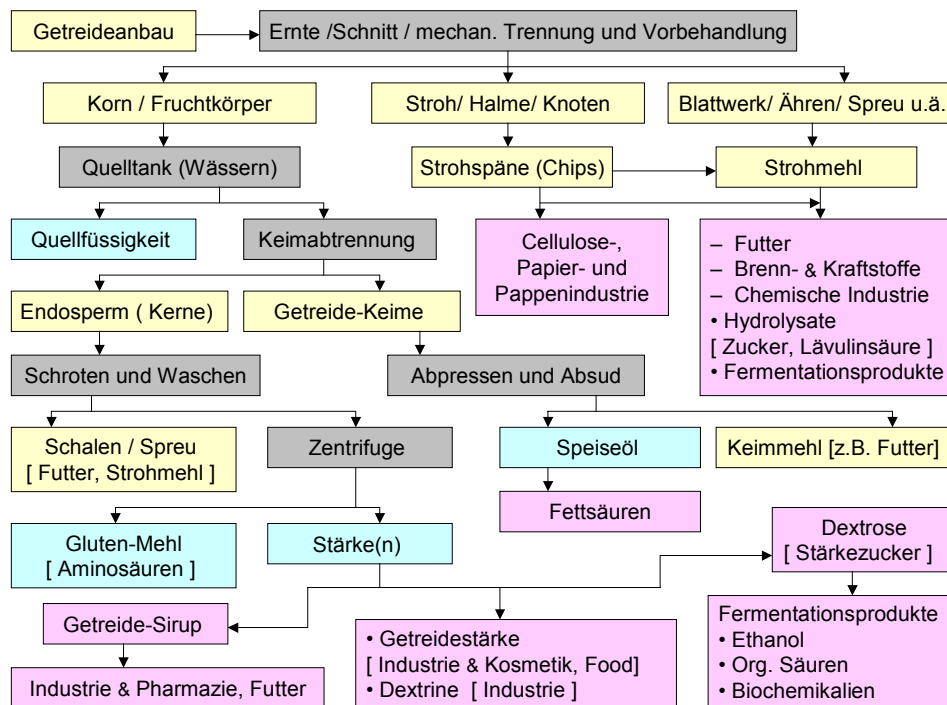


Abb. 3: Beispiel für eine Bioraffinerie auf Basis einer Getreide-Nassmühle (Phase II-Bioraffinerie)

Das Bioraffinerie Konzept (BR-Konzept)

Gegenwärtig erzeugen Erdöl-Raffinerien sehr effizient eine Vielzahl von Produkten für nahezu alle Lebensbereiche. Der fossile Rohstoff ist billig, steht jedoch nur begrenzt zur Verfügung. Die Entwicklung von vergleichbaren Bioraffinerien wird notwendig, um viele biologische Produkte konkurrenzfähig zu ihren auf fossilen Rohstoffen basierenden Äquivalentprodukten zu machen. Jede Bioraffinerie raffiniert und konvertiert ihre jeweiligen biologischen Rohstoffe in eine Vielzahl von Wertprodukten. Die Produktpalette einer Bioraffinerie umfasst nicht nur solche Produkte, die in einer Erdölraffinerie hergestellt werden, sondern im besonderen auch solche, die Erdölraffinerien nicht produzieren können. Einige Beispiele an bekannten und potentiellen Bioraffinerieprodukten seien im folgenden aufgeführt: (1) Fermentations-feedstocks [Stärke, Dextrose, Saccharose, Cellulose, Hemicellulose, Melasse, Proteine]; (2) Food-Produkte [Öle, Stärken, Süßstoffe]; (3) Nonfood-Industrieprodukte [Füll- und Dämmmaterialien, Papier und Pappenformate, Textilformate, Klebstoffe und Bindemittel]; (4) Chemische Grund- und Zwischenprodukte [Milchsäure, Essigsäure, Zitronensäure, Bernsteinsäure, Aminosäuren]; (5) Kraft-/Brennstoffe [Ethanol, Aceton, Butanol]; (6) Lösungsmittel [Ethanol, Butanol, Aceton, Ester]; (7) industrielle Enzyme; (8) bioabbaubare Polymere [Gummen/Elaste & Plaste].

Bioraffinerie-Design

Um solche Produktziele zu erreichen, ist es notwendig, dass zum einen neue Bioraffinerie-Basistechnologien entwickelt und zum anderen die heute bekannten Technologien kombinatorisch eingesetzt werden. Viele Bioraffinerie-Endprodukte werden erst durch eine sinnvolle nachhaltige und ökonomische Kombination verschiedener Prozesse und Methoden (z.B. thermische, mechanische, chemische und biologische Verfahren und Technologien) herstellbar. Das Entwickeln von tragfähigen Bioraffinerien erfordert ein hochgradig interdisziplinäres Zusammenspiel der verschiedensten Fachdisziplinen in Forschung und Entwicklung. Es erscheint daher zulässig von *Bioraffinerie-Design* zu sprechen. Bioraffinerie-Design heißt: auf fundierter, seriöser wissenschaftlicher und technologischer Basis, praxisnah und anwendungsorientiert Technologien, Prozesse, Produkte und Produktlinien zu Bioraffinerien zusammenzuführen. Design-Konzepte werden zukünftig u.a. aufbauen auf: **(1)** die Lignocellulose-Feedstock-Konversion [LCF-Bioraffinerie, LCF-Vorbehandlung, effektive Trennung der LCF in Lignin, Cellulose und Hemicellulose (**Abb. 4**)]; **(2)** die Weiterentwicklung von thermischen, chemischen und mechanischen Prozessen [z.B. neue Aufschlussmethoden, Vergasung (Synthesegas) und Verflüssigung von Biomasse]; **(3)** die Weiterentwicklung biologischer Prozesse [Biosynthese, Stärke- und Celluloseabbauende Bakterien u.a.]; **(4)** die Kombination von Stoffwandlungen [z.B. biotechnologischer und chemischer]; **(5)** Grüne BioRaffinerie-Konzepte; **(6)** die Forcierung von F&E auf Phase III/Typ III-Bioraffinerien [Feedstock-Mix + Prozess-Mix → Produkt-Mix, (**Abb. 1, 3-5**)].

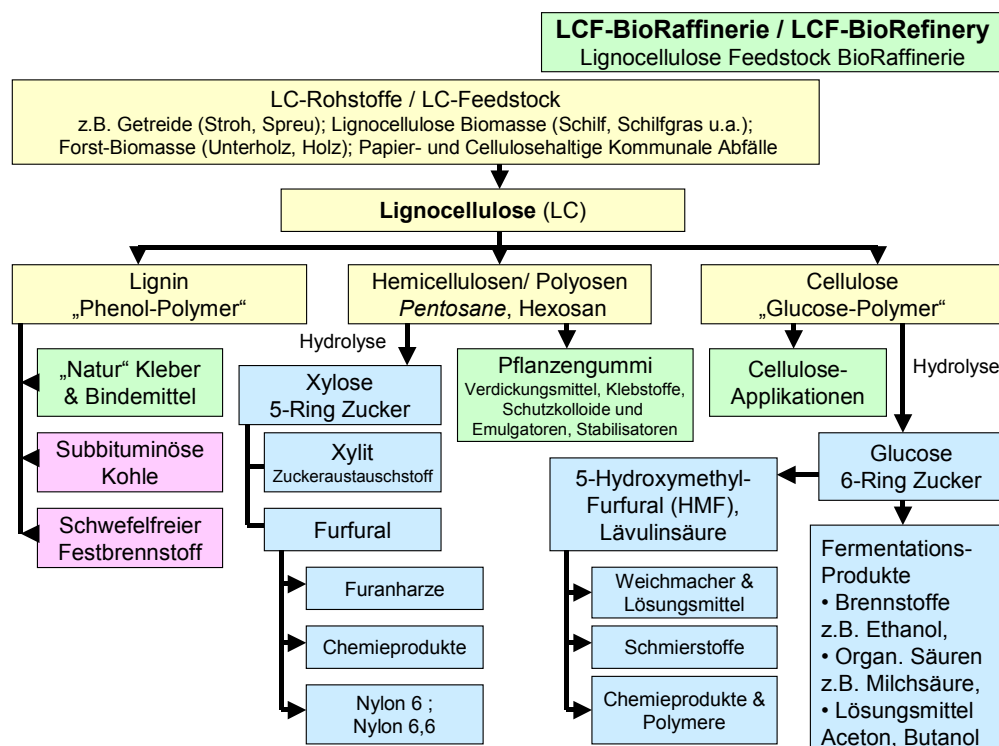


Abb.4: Bioraffinerie-Design; Lignocellulose-Feedstock-Bioraffinerie (LCF-Bioraffinerie, Phase III)

Schlüsseltechnologien sowie Forschungs- und Entwicklungsfelder werden dabei sein (Auswahl): **(a) Up-Stream-Prozesse:** Industrielle enzymatische Hydrolyse von Cellulose & Hemicellulose; **(b) Bioprozesse:** Monitoring biologischer Prozesse, Bioreaktoren für Wärme-, Schwingungs- und viskose Reaktionen, Fest-Flüssig-Fermentation, Prozesskontrolle (Komponentenanalyse), Kombination biologischer, physikalischer und chemischer Operationen; **(c) Mikrobielle Systeme:** Identifikation von Mikroorganismen, Studium der fundamentalen Prinzipien mikrobieller Physiologie und Wechselwirkungen (Umwelt, Metabolismus und Physiologie); **(d) Enzyme:** Entwicklung preisgünstiger industrieller Enzyme, Neue Enzyme für biologische Produkte; **(e) Down-Stream-Prozesse:** Extraktion mittels superkritischer Lösungsmittel (z.B. CO₂), selektive permeable Membranen, Kombination und

Integration verschiedener Trennmethode(n) (z.B. Flüssigextraktion und Membrantechnologie). Eine Prioritätenliste wurde u.a. 1999 durch den *National Research Council* der USA erarbeitet (NRC, 2000 [19]).

Das Grüne BioRaffinerie Konzept (GBR-Konzept)

Als Grüne BioRaffinerie werden komplexe Systeme nachhaltiger, umwelt- und ressourcenschonender Technologien zur umfassenden *stofflichen und energetischen* Nutzung bzw. Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen in Form von Grünen und organischen Abfallbiomassen aus einer im Ziel nachhaltigen regionalen Landnutzung bezeichnet (Kamm *et al.*, 1997 [10]).

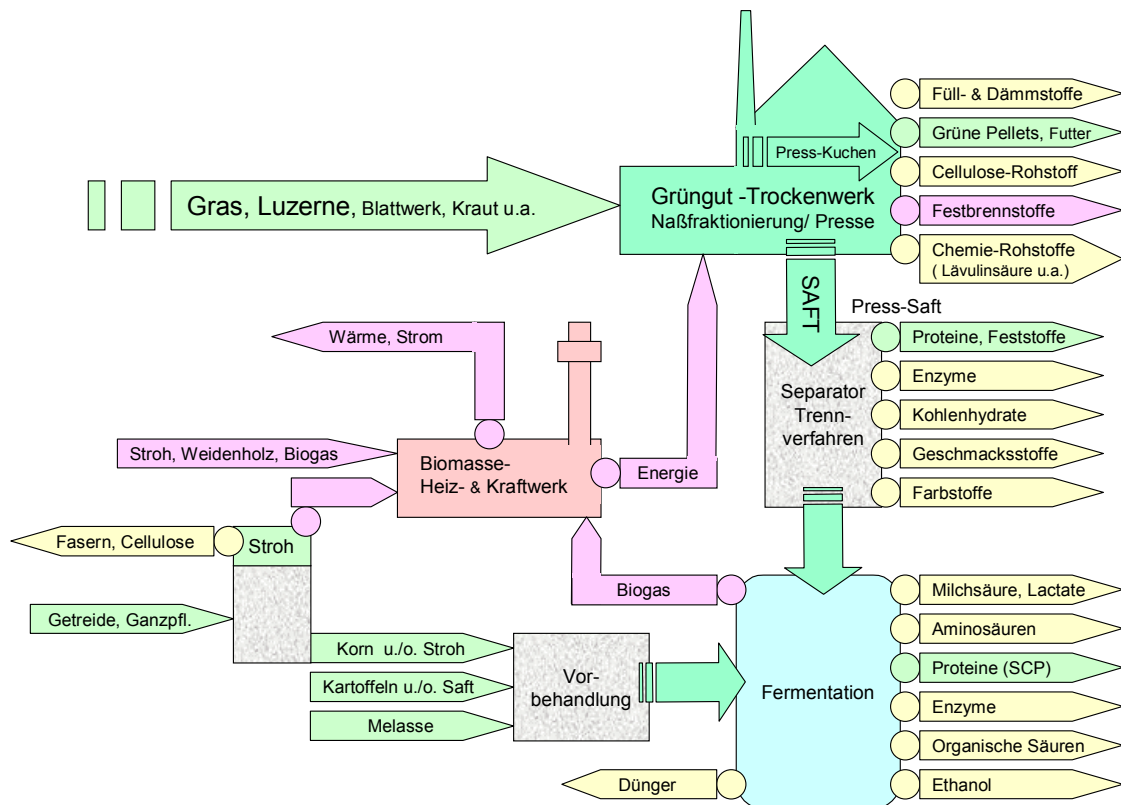


Abb. 5. Ein System Grüne BioRaffinerie, Integrierter Prozess zur Produktion von Food und Non-Food-Produkten sowie Energie auf Basis grüner Biomasse (nach Kiel, Kamm in [1])

Grüne BioRaffinerien (GBR) sind ebenso wie BioRaffinerien Multiprodukt-Systeme und richten sich in ihren Raffinerie-Schnitten, -Fraktionen und -Produkten nach der Physiologie des Pflanzenmaterials, das heißt an Erhalt und Nutzung der Vielfalt der durch die Natur erbrachten Syntheseverleistungen. In Erweiterung des BioRaffinerie-Konzepts orientieren sich Grüne BioRaffinerien sehr stark an den Nachhaltigkeitsprinzipien (Nachhaltige Landnutzung, Nachhaltige Rohstoffe, Schonende Technologien, Autarke Energieversorgung, etc.) bzw. beziehen diese mit ein. Steht bei BioRaffinerien *derzeit* die Ökonomie im Vordergrund, ist man mit Grünen BioRaffinerie-Konzepten schon konzeptionell um eine Gleichgewichtung zwischen Ökonomie und Ökologie bemüht. Übersichten zu GBR-Konzepten, Inhalten und Zielen sind zu finden unter Kamm, 1999 [1]; ARGE BioRaffinerie, 1999 [20]; Kromus, 1999 [21]; Kiel, 1999 [22]; Kamm, 1997 [10]; Kiel, 1997 (vgl. [22]); Carlsson, 1989 [11].

Grüne Biomassen sind beispielsweise Gras aus einer Bewirtschaftung von Dauergrünland, Stilllegungsflächen, Naturschutzflächen oder grüne Feldfrüchte, wie Luzerne, Klee, unreifes Getreide aus einer extensiven Landbewirtschaftung. Grüne Pflanzen sind eine natürliche Chemie- und Lebensmittelfabrik. Um ihre wertvollen Inhaltsstoffe in einer weitestgehenden Naturbelassenheit zu isolieren,

verwendet man in der ersten Stufe (Primärraffination) die schonende Technologie der Nass- oder Trockenfraktionierung. Bei der Nass-Fraktionierung wird das grüne Erntegut oder das feuchte organische Anfallgut in einen faserreichen Presskuchen (PK) und in einen nährstoffreichen Saft (Green Juice, GJ; Presssaft, PS) getrennt. Der Presskuchen enthält neben Cellulose und Stärke auch wertvolle Farbstoffe, Arzneistoffe und andere Organika. Der GJ/PS enthält Kohlenhydrate, Proteine, freie Aminosäuren, organische Säuren, Farbstoffe, Enzyme, Hormone, Arzneistoffe, weitere organische Substanzen und Mineralien. Diese primären und sekundären Pflanzeninhaltsstoffe werden nach den bereits beschriebenen BR-Technologien in einer GBR fraktioniert, isoliert und zu Produkten konvertiert (**Abb. 5 & Abb. 2**). Rohstoffe wie Gras haben auch physiologische Vorteile. Sie enthalten wertvolle Inhaltsstoffe, die in den artverwandten Kulturpflanzen Getreide bereits herausgezüchtet worden sind.

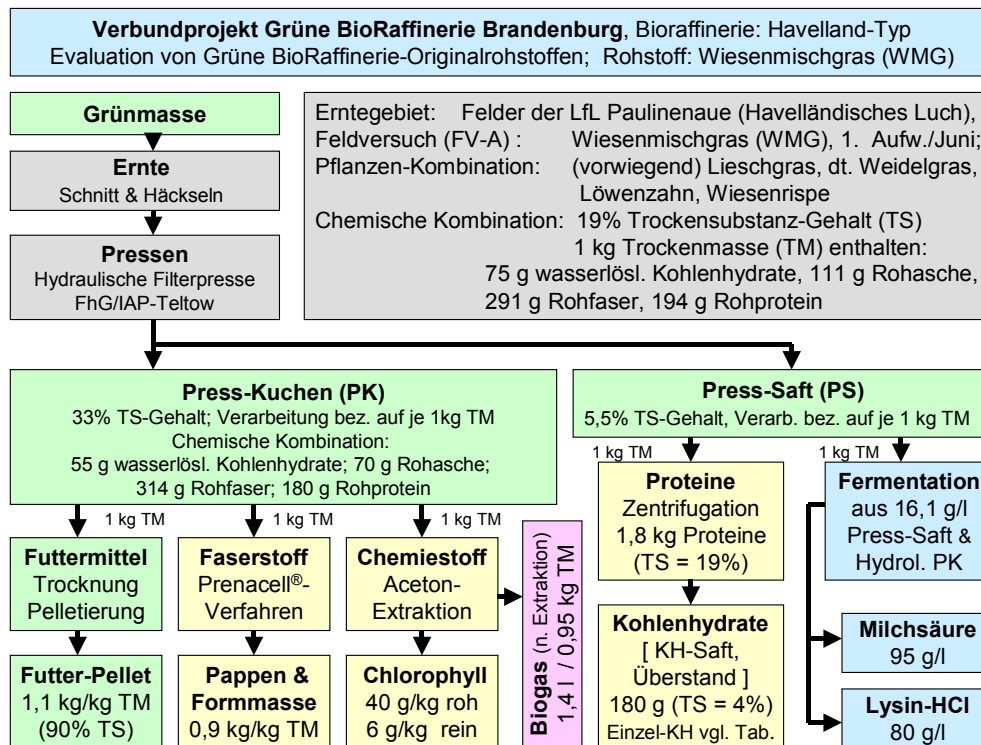


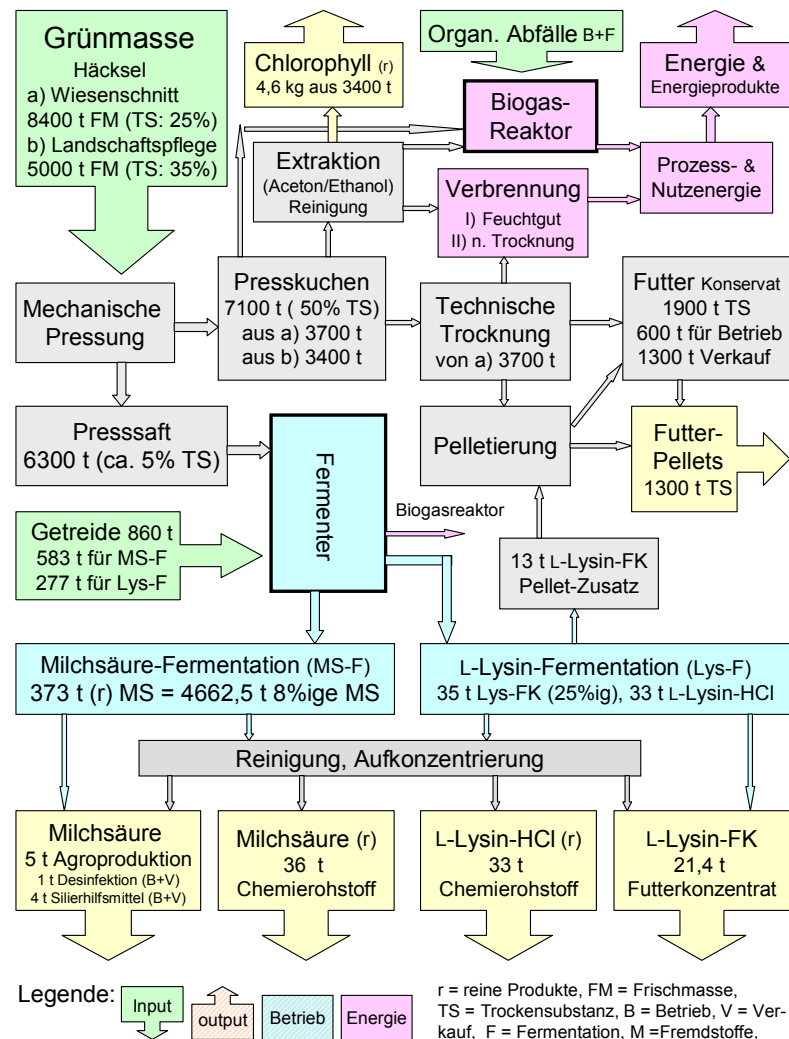
Abb. 6. Evaluierung der Potentiale einer Primärraffinerie und einigen BioRaffinerie-Produktlinien

Grüne BioRaffinerie – Der Havelland-Typ (GBR-HVL-Typ)

Der Charakter einer BioRaffinerie wird letztendlich durch das Umfeld des potentiellen BioRaffinerie-Standortes bestimmt. Der regionale Bezug ergibt sich schon daraus, dass sich die i.A. festen Biomassen sinnvoll nicht wie Erdöl oder Gas transportieren lassen. Zu den Standort-Parametern zählen weiterhin Rohstoffe (Art und Verfügbarkeit), Infrastruktur (Landwirtschaft, Industrie, Handel, Verkehr, Wissenschaft und Bildung), Humankapital, Produktlinien, Produktinnovationen, regionaler Markt.

Arbeiten an BioRaffinerie-Systemen sind innovativ und immer hochgradig interdisziplinär. Die grundlegenden fachspezifischen Arbeiten finden somit örtlich verteilt in den Universitäten, Instituten und Forschungsunternehmen statt. So auch in Brandenburg. Um diese Arbeiten praxisrelevant zu bündeln, wurde im Jahre 1999 der Forschungs-, Entwicklungs- und Praxisverbund „Grüne BioRaffinerie Brandenburg“ gegründet. Als potentielle Region wurde das Havelland (Region und Gebietskörperschaft im Land Brandenburg, westlich von Berlin) gewählt. Die Region/der Landkreis Havelland (59% der Fläche landwirtschaftlich genutzt, 61.000 ha als Ackerland, 31.000 ha als Grünfläche) bietet mit dem Havelländischen Luch, mit der zentralen Agro-Einheit Futtermittelwerk Selbelang (Verarbeitungskapazität 6 bis 8 x 10³ t Trockengutpellet/Jahr), dem ehemaligen Chemiefaserwerk Premnitz (heute Chemiepark), dem hohen Wissensstand der Agroindustriellen Forschungs- und Bildungseinrichtungen u.a.

ideale Standortbedingungen. Die Forschungs- und Entwicklungskonzeption wurde Grüne BioRaffinerie „Havelland-Typ“ genannt (*ARGE BioRaffinerie*, 1999 [20]). Eine regionale Übertragbarkeit der Konzeption ist dieser innewohnend.



Die Massenbilanz der **Abb. 7** beruht auf folgenden Annahmen:

Landwirtschaftlicher Betrieb:
1200 ha Landw. Nutzfläche (LN)
550 ha Grünland (GL)
davon
8400 t Frischmasse für GBR
Tierbestand:
460 Milchkühe, 60 Mastbullen,
300 Jungrinder, 260 Kälber,
100 Schweine

Abb. 7: Einordnung einer GBR-Press-Saftlinie in einen landwirtschaftlichen Betrieb

Evaluierung der Potentiale einer BioRaffinerie des Havelland-Typs

Um das komplizierte Zusammenspiel der verschiedenen Technologien und Produktlinien praxisnah vorzubereiten, wurde im Technikums- und Kleintechnikumsmaßstab ein potentiell Regime mit dem Originalrohstoff Wiesenmischgras (WMG) gefahren. Die experimentelle Evaluierung betraf Primär- raffinerie-Stufen (Grasernte, Häckseln, Transport, Fraktionierung in Press-Kuchen und Press-Saft, Lagerung) und die Sekundär- raffineriestufen bzw. Produktlinien: Proteinabtrennung, Kohlenhydratisierung, Saftfermentation zu Milchsäure und der Aminosäure L-Lysin (Press-Saftlinie) sowie die Blattfarbstoffextraktion, Herstellung von Futterpellets, Faserstoffgewinnung sowie die Reststoffverwertung zu Biogas (Press-Kuchenlinie). Erste Ergebnisse sind in der **Abb. 6** zusammengefasst. Um eine weitestgehende Vergleichbarkeit zu gewähren, wurden die Ergebnisse der einzelnen Verfahrens- stufen auf jeweils 1 kg Trockenmasse (TM) umgerechnet. In der 2. Evaluierungsstufe wurden die Verfahren und Produktlinien in die Struktur eines Landwirtschaftlichen Betriebes eingearbeitet. Das Ergebnis ist in **Abb. 7** dargestellt. Dabei ging es nicht um eine Produktmaximierung, sondern um eine Evaluierung des Modellprojektes „Landwirtschaftlicher Betrieb als Erzeuger von Non-Food-Produkten“. In einer ersten Bewertung konnte gezeigt werden, dass Wiesenmischgras sich zu einem durchaus effizienten

Grüne-BioRaffinerie-Rohstoff entwickeln kann. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass das Implementieren von Bioraffinerien in Agrarbetriebe mittlerer Größe ökonomisch und ökologisch vorteilhaft sein kann. Eine ausführliche Beschreibung der Evaluierung sowie verschiedener Bioraffineriesysteme befindet sich in Vorbereitung. Forschungs- und Entwicklungsbedarf hat sich dabei aufgezeigt.

Literatur

- [1] KAMM, B.; KAMM, M.; The Green Biorefinery – Principles, Technologies and Products, 2nd International Symposium Green Biorefinery, October, 13-14, 1999, SUSTAIN, Verein zur Koordination von Forschung über Nachhaltigkeit (Hrsg.), Feldbach, Austria, **1999**, S. 46-69
- [2] SLADE, R.E.; BIRKINSHAW, J.H. (ICI); Improvement in or related to the utilization of grass and other green crops. *Brit. Pat.* **BP 511,525** (1939)
- [3] PIRIE, N.W.; *Chem. Ind.*, **61** (1942) 45 & *Nature*, **149** (1942) 251
- [4] PIRIE, N.W.; Leaf protein: a beneficiary of tribulation. *Nature*, **253** (1975) 239-241
- [5] SCHWENKE, K.-D.; Eiweisquellen der Zukunft [Aulis-Verlag Deubner, Köln, **1985**, ISBN 3-7614-0858-7] pp. 82
- [6] KNUCKLES, B.E.; BICKOFF, E.M.; KOHLER, G.O.; *J. Agri. Food Chem.*, **20** (1972) 1055
- [7] SHEN, S.; Biological Technologies for a Sustainable Production of Biomass. In: Biodiversity [E.O. Wilson (ed.), National Academy Press, Wahington, D.C, **1988**] 404 ff.
- [8] HEIER, W.; *Grundlagen der Landtechnik* **33** (1983) 45-55
- [9] CARLSSON, R.; Trends for future applications green crops. In: Forage Protein Conservation and Utilization. [Proceedings of EFC Conf., Dublin, Ireland ,**1982**] 57-81
- [10] KAMM, B.; KAMM, M.; SOYEZ, K.; Die Grüne Bioraffinerie-Ein ökologisches Technologiekonzept. In: Die Grüne Bioraffinerie, Proc. 1. Symp. Grüne Bioraffinerie, 1997, Neuruppin [Berlin, **1998**, ISBN 3-929672-06-5] 4-17
- [11] CARLSSON, R.; Green Biomass of Native Plants and new Cultivated Crops for Multiple Use: Food, Fodder, Fuel, Fibre for Industry, Photochemical Products and Medicine. In: New Crops for Food and Industry [Wickens et al., Chapman and Hall, London, **1989**].
- [12] KAMM, M.; Pflanzliche Aminosäuren als Chemierohstoff. In: Die Grüne Bioraffinerie. Proc. 1. Symp. Grüne Bioraffinerie, 1997, Neuruppin [Berlin, **1998**, ISBN 3-929672-06-5] 150-184
- [13] HACKING, A.J.; The American wet milling industry. In: Economic Aspects of Biotechnology [Cambridge University Press, New York, **1986**] 214-221
- [14] MORRIS, D.J.; AHMED, I.; The Carbohydrate Economy: Making Chemicals and Industrial Materials from Plant Matter. [Biotechnology Institute of Local Self Reliance, Washington D.C. **1992**]
- [15] SZMANT, H.H.; Industrial Utilization of Renewable Resources. [Technomic Publishing, Lancaster, Pa.; **1987**]
- [16] RICHTER, K.; KAMM, B.; KAMM, M.; Biotechnologische Erzeugung von Milchsäure und Aminiumlactaten aus Getreidestärke In: Biokonversion Nachwachsender Rohstoffe Bd. 10 [Landwirtschaftsverlag Münster, **1997**, ISBN 3-7843-2926-8] 293-315

- [17] DANNER, H.; BROWN, R.; Biotechnology for the production of commodity chemicals from biomass. Chemical Society Reviews, 6 (1999)
- [18] NATIONAL CORN GROWERS ASSOCIATION (NCGA, USA); Plant/Crop-based Renewable Resources 2020: A Vision to Enhance U.S. Economic Security through Renewable Plant/Crop-based Resources Use [NCGA-paper DOE/GO-10097-385, 1998] 25 pp.
- [19] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC, USA); Biobased Industrial Products: Priorities for Research and Commercialization [National Academic Press, Washington D.C., 2000]
- [20] ARGE Grüne BioRaffinerie Brandenburg (Hrsg.); Die Grüne BioRaffinerie- Entwicklung und Etablierung eines Systems „Grüne BioRaffinerie“ in der Region Havelland. BMBF-Vorlage [Teltow-Selbelang, 1999] 30 Seiten, (zu beziehen über B.Kamm, 03328-46531, Teltow)
- [21] KROMUS, S.; A Concept of a Decentralised Green Biorefinery for the Austrian Region of Feldbach. 2nd International Symposium Green Biorefinery, October, 13-14, 1999, SUSTAIN, Verein zur Koordination von Forschung über Nachhaltigkeit (Hrsg.), Feldbach, Austria, 1999, S. 32-45
- [22] KIEL, P.; The Green Biorefinery in Denmark - Utilisation of green and brown juice as fermentation media. -Ibid-

Wir danken allen Institutionen, Forschungsgruppen und Einzelwissenschaftlern, welche die AG Grüne BioRaffinerie in ihrer Arbeit unterstützen. Besonderer Dank gilt den nachfolgend aufgeführten Personen und Einrichtungen (Institute und Einrichtungen in alphabetischer Reihenfolge):

PD Dr. habil Bernd Linke, Dr. sc. Klaus Richter [ATB- Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Potsdam-Bornim, Abt. Bioverfahrenstechnik]; Prof. Dr. Gerhard Muschiolik, Dr. Jörg Beckmann, [biopos-Forschungsinstitut Bioaktive Polymersysteme e.V., Teltow]; Dr.-Ing. Ernst-Peter Jeremias [entec Ingenieurgesellschaft mbH Neuruppin und wiss. Leiter BUFZ e.V., Alt Ruppin]; Dr. Hermann Lang [Fraunhofer Institut für Angewandte Polymerforschung (IAP), Teltow und Potsdam-Golm]; Dipl.-Ing. Bernd Müller [FMS-Futtermittelwerk Selbelang GmbH, Selbelang]; Prof. Dr. Klaus Jaster [Humboldt Universität zu Berlin (HUB), Institut für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus]; Dr. Frank Hertwig, Dr. Jürgen Pickert [Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Abt. Grünland- und Futterwirtschaft, Paulinenaue]; Dr. Klaus-Dieter Robowsky [Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Abt. Analytik, Potsdam]; Prof. Dr. Klaus-Dieter Schwenke [Institut für Angewandte Proteinchemie, Kleinmachnow]; Dr. Manfred Fechner [Paulinenaauer Arbeitskreis Grünland- und Futterwirtschaft e.V., Paulinenaue]; Prof. Dr. Erich Kleinpeter, Prof. Dr. Martin G. Peter [Universität Potsdam, Institut für Organische Chemie und Strukturanalytik]; Dr. sc. Wolfgang Seyfarth [ZALF, Müncheberg].

Anschrift der Autoren

Universität Potsdam
 Zentrum für Umweltwissenschaften
 AG Grüne BioRaffinerie
 Dr. Birgit und Michael Kamm
 c/o Forschungsstandort Teltow-Seehof
 Kantstraße 55, D-14513 Teltow
 tel. ++49+3328-46531,
 e-mail: kamm@rz.uni-potsdam.de
 http://www.bioraffinerie.de

